



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مرجع کاربردی و محاسباتی

ایستگاه‌های پمپاژ و پمپ

به همراه پایپینگ پمپ سانتریفیوژ و مثال‌های کاربردی

تألیف و ترجمه:
مهندس ابودر ملکیان

سرشناسه	: ملکيان، ابوذر، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پديدآور	: مرجع کاربردی و محاسباتی ایستگاه‌های پمپاژ و پمپ به همراه پایبند پمپ سانترفیوژ و مثال‌های کاربردی / تالیف و ترجمه ابوذر ملکيان.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهري	: ۲۴۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۷۱-۴-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: ماشین‌آلات تلمبه‌زنی
موضوع	: تلمبه‌خانه‌ها -- طرح و محاسبه
موضوع	: کمپرسورها
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۳ م۴۳/م۷۴/۹۰۰ TJ
رده بندی دیویی	: ۶/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۴۳۹۴۹۰

مرجع کاربردی و محاسباتی ایستگاه‌های پمپاژ و پمپ

مهندس ابوذر ملکيان

نوآور

نسخه ۱۰۰۰

محمدرضا نصيرنيا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۷۱-۴

تأليف و ترجمه:

ناشر:

شمارگان:

مدیر تولید:

نوبت چاپ:

شابک:



نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخرآزی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۸۹

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

فروشگاه ۵: تبریز، خ امام، فلکه دانشگاه، اول خ دانشگاه، کتابفروشی علامه تلفن: ۰۴۱۱۳۳۴۱۶۶۹ - ۰۴۱۱۳۳۴۱۹۸۶

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

مقدمه مولف

شاید امروزه کمتر کسی را بتوان یافت که با تجهیزی به نام پمپ آشنایی نداشته باشد. پمپ از قرن‌ها پیش (اگرچه بصورت ابتدایی) توسط بشر مورد استفاده قرار می‌گرفت و همزمان با انقلاب صنعتی استفاده از پمپ‌ها افزایش یافت و مهندسان به ساخت پمپ‌هایی با عملکرد بالاتر دست زدند. امروزه در دنیا میلیون‌ها پمپ وجود دارد و تبع آن میلیون‌ها کیلومتر خط لوله. داشتن آگاهی و شناخت کافی از قوانین حاکم بر پمپاژ و پایپینگ به ما در دستیابی به دانش فنی طراحی خطوط پمپاژ و همچنین تأثیرات آن بر پمپ مربوطه کمک شایانی خواهد کرد. لذا با در نظر گرفتن این موارد کتاب حاضر در سه بخش اصلی گردآوری شده است:

در بخش اول مفاهیم اولیه پمپ‌ها مطرح می‌گردد؛ این بخش شامل فصل اول کتاب می‌شود. در بخش بعد به بررسی اصول دینامیکی حامل بر سیال در داخل پمپ و همچنین خطوط لوله می‌پردازیم، مواردی از قبیل تأثیر ویسکوزیته بر پمپاژ، پمپ‌های سری و موازی، منحنی‌های سیستم، محاسبات خطوط پمپاژ و ... در این بخش قرار دارند؛ این بخش شامل فصل‌های دوم تا هشتم می‌شود. بخش سوم در واقع فصل نهم کتاب بوده که بررسی پایپینگ پمپ سانترفیوژ می‌پردازد. ضمناً در انتهای کتاب ضمیمه‌هایی قرار داده شده تا خوانندگان عزیز در بتوانند در انجام محاسبات خود از آن کمک بگیرند.

در پایان فرصت را غنیمت شمرده و از کلیه عزیزانی که بنده را در تهیه این کتاب همراهی نمودند تشکر می‌نمایم. همچنین از خانواده گرامی خود که در طول مدت تألیف این کتاب با صبر و شکیبایی فراوان و با فراهم آوردن محیطی آرام و مناسب، ادامه کار را برایم امکان‌پذیر ساختند، صمیمانه سپاسگذاری و قدردانی می‌نمایم.

خرسندیم که خداوند این توانایی را به ما داد تا بتوانم خدمتی ناچیز به جوانان و محققان این مرز و بوم نمایم. امید است این اثر بتواند مورد توجه هموطنان عزیز قرار بگیرد. در ضمن عزیزان می‌توانند از طریق رایانامه Info@noavarpub.com نظرات و پیشنهادات ارزنده خود را با نویسنده در میان بگذارند.

با تشکر
ابوذر ملکیان

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

انواع پمپ
خواص سیال
وزن مخصوص
ویسکوزیته
فشار بخار
گرمای ویژه
فشار و هد مایع
انرژی جریان مایع و معادله برنولی
هد و ظرفیت پمپ
خلاصه
مسائل

فصل دوم: عملکرد پمپ

منحنی‌های عملکرد شرکت سازنده پمپ
توان مورد نیاز
NPSH در برابر ظرفیت پمپ
محرك پمپ و توان مورد نیاز
پمپ‌های چند مرحله‌ای
سرعت ویژه
خلاصه
مسائل

فصل سوم: خواص مایع در برابر عملکرد پمپ

افزایش دمای مایع، ناشی از ناکارآمدی پمپ
راه‌اندازی پمپ با شیر تخلیه بسته

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

منحنی هد سیستم
قطر لوله و نامگذاری
خلاصه
مسائل

فصل چهارم: افت فشار در سیستم‌های لوله‌کشی

سرعت جریان
انواع جریان
افت فشار ناشی از اصطکاک
محاسبه ضریب اصطکاک: معادله کالبروک
معادلات صریح برای ضریب اصطکاک
معادله هیزن - ویلیامز برای افت فشار
افت فشار در اتصالات و شیرها
تلفات ورودی و خروجی و تلفات ناشی از انبساط و انقباض لوله
لوله‌های سری و موازی
تلفات هد در لوله‌کشی سری
تلفات هد در لوله‌کشی موازی
خلاصه
مسائل

فصل پنجم: منحنی‌های هد سیستم

خفگی پمپ و تلفات توان
انواع منحنی هد سیستم
خلاصه

مسائل

فصل ششم: عملکرد پمپ در اندازه و سرعت‌های مختلف پروانه

محاسبه قطر پروانه و یا سرعت برای یک نقطه عملکرد خاص
خلاصه

مسائل

فصل هفتم: NPSH و کاویتاسیون پمپ

خلاصه

مسائل

فصل هشتم: کاربردها و اقتصاد پمپ

پمپ‌های سری و موازی

مبانی اقتصادی سیستم‌های پمپاژ

خلاصه

مسائل

فصل نهم: پاپینگ پمپ سانتریفیوژ

مقدمه

لوله‌کشی پمپ‌های گریز از مرکز افقی

لوله‌کشی پمپ‌های گریز از مرکز عمودی

لوله‌کشی پمپ رفت و برگشتی

لوله‌کشی پمپ‌های دوار (روتاری)

مسائل مربوط به تکیه‌گاه و تنش در لوله‌کشی

پیوست‌ها

پیوست الف

پیوست ب

پیوست ت

پیوست ث

پیوست ج

پیوست چ

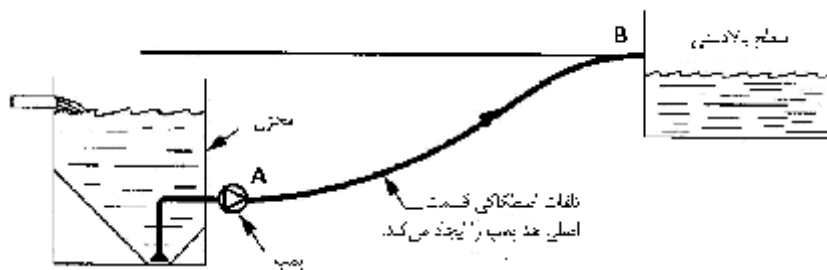
پیوست ح

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

مقدمه

در یک سیستم پمپاژ، پمپ وظیفه افزایش فشار سیال از نقطه‌ای به نقطه دیگر (از طریق یک سیستم لوله‌کشی) را بر عهده دارد. در اغلب موارد، فشار از طریق تبدیل انرژی جنبشی مایع به انرژی فشاری ایجاد می‌شود. فشار در سیستم یکای مرسوم آمریکا (USCS) برحسب $(\text{psi}) \text{ lb/in}^2$ و در سیستم یکای بین‌المللی (SI) بر حسب کیلوپاسکال یا بار (bar) اندازه‌گیری می‌شود. دیگر واحدهای فشار در بخش‌های بعدی این کتاب مطرح خواهند گردید. در انتقال مایع در یک خط لوله، فشار ایجاد شده توسط پمپ در مبدا A این خط لوله، باید برای غلبه بر مقاومت اصطکاکی بین مایع و داخل لوله (در کل طول لوله) به نقطه انتهایی B کافی باشد. علاوه بر این، فشار باید برای غلبه بر هرگونه اختلاف ارتفاع بین A و B نیز کافی باشد. در نهایت، اگر قرار است کارکرد مفیدی در انتها داشته باشد، باید هنگامی که به پایانه B می‌رسد، یک فشار باقیمانده برای مایع وجود داشته باشد (بدین معنی که در هنگام خروج سیال از انتهای لوله فشار لازم را داشته باشد).

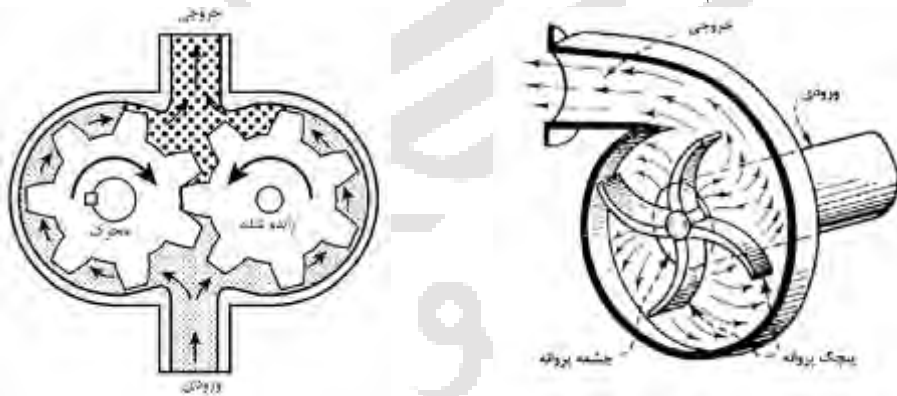


شکل ۱-۱ تلفات اصطکاکی در طول مسیر

اگر ارتفاع B پایین‌تر از ارتفاع A باشد، در موقعیتی که پمپ قرار گرفته است، یک مزیت ارتفاعی وجود دارد که منجر به کاهش در فشاری که باید توسط پمپ تولید شود می‌گردد. برعکس، اگر ارتفاع B بالاتر از A باشد، پمپ برای تولید فشار اضافی (برای غلبه بر اختلاف ارتفاع) باید سخت‌تر کار کند.

انواع پمپ

انواع مختلفی از پمپ‌ها در صنعت پمپاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه رایج‌ترین نوع پمپ، پمپ گریز از مرکز می‌باشد که نحوه عملکرد آن بتفضیل در کتاب پمپ، پمپاژ و پایپینگ از همین نویسنده شرح داده شده است. انواع دیگر پمپ شامل پمپ‌های رفت و برگشتی و دوار می‌باشند. این نوع پمپ‌ها، پمپ‌های جابجایی مثبت^۱ نامیده می‌شوند، چرا که در هر سیکل پمپاژ یا چرخش، پمپ حجم ثابتی از مایع را که به هندسه پمپ و سرعت دورانی و یا رفت و برگشتی بستگی دارد، منتقل می‌کند. در پمپ‌های جابجایی مثبت، حجم مایع پمپ شده مستقل از فشار تولید شده است. این پمپ‌ها در مقایسه با پمپ‌های گریز از مرکز، قادر به تولید فشار بسیار بالاتری می‌باشند. بنابراین، به منظور حفاظت از لوله‌کشی و تجهیزات در معرض فشار پمپ، نیاز به نصب تجهیزات ایمنی نظیر شیر اطمینان^۲ در سمت تخلیه پمپ‌های جابه‌جایی مثبت داریم.



شکل ۱-۲ نحوه پمپاژ سیال در پمپ سانتریفیوژ و پمپ جابجایی مثبت

پمپ‌های گریز از مرکز قادر به ارائه طیف وسیعی از دبی در یک محدوده خاص از فشار می‌باشند. از اینرو فشار تولید شده توسط یک پمپ گریز از مرکز به دبی پمپ بستگی دارد. پمپ‌های گریز از مرکز، بدلیل تغییرات دبی در برابر فشار، انعطاف‌پذیری بیشتری داشته و

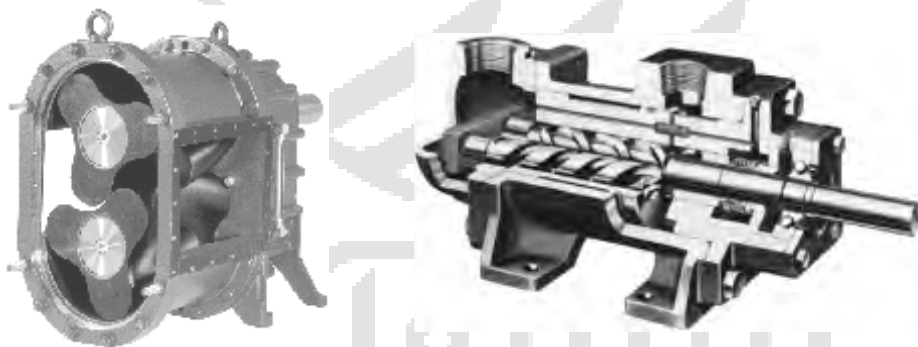
۱. positive displacement-PD

۲. PRV

بطور معمول در کاربردهای فرآیندی و خطوط لوله بکار گرفته می‌شوند. این پمپ‌ها، در پمپاژ مایعات سبک و نسبتاً سنگین (با ویسکوزیته بالا) مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود، در بسیاری از کاربردهای شامل مایعات بسیار سنگین با ویسکوزیته بالا، ممکن است نیاز باشد از پمپ جابجایی مثبت، نظیر پمپ‌های دوار اسکرو (حلزونی) یا دنده‌ای به علت بازده بالاترشان استفاده شود.

پمپ‌های دوار، از قبیل پمپ‌های دنده‌ای و اسکرو (شکل ۱-۳)، عموماً در کاربردهایی که در آنها مایعات با ویسکوزیته بالا پمپاژ می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. همانطور که پیش از این اشاره گردید، پمپ‌های جابجایی مثبت قادر به ایجاد فشارهای بالا در دبی‌های ثابت می‌باشند که به طراحی، هندسه و سرعت چرخش آنها بستگی دارد.

هزینه‌های عملیاتی و نگهداری پمپ‌های گریز از مرکز در مقایسه با پمپ‌های جابجایی مثبت کمتر می‌باشد. اما پمپ‌های جابجایی مثبت در مقایسه با پمپ‌های گریز از مرکز، بازده بالاتری دارند. روند اخیر در صنعت، رواج استفاده از پمپ‌های گریز از مرکز در اغلب موارد بوده است، البته به جز در برخی کاربردهای خاص با ویسکوزیته بالا که بجای پمپ‌های گریز از مرکز، از پمپ‌های جابجایی مثبت استفاده می‌شود. از آنجا که در خطوط لوله آب، مواد شیمیایی، نفت و صنایع پتروشیمی بیشتر از پمپ‌های گریز از مرکز استفاده می‌شود، تجزیه و تحلیل ما در این کتاب به سمت پمپ‌های گریز از مرکز هدایت خواهد شد.



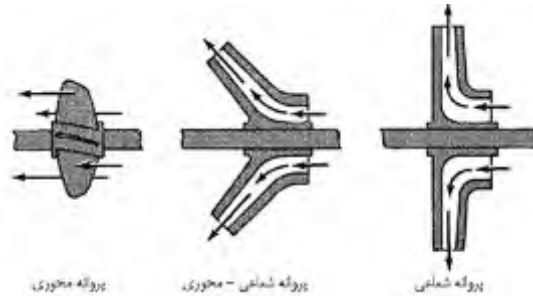
شکل ۱-۳ پمپ‌های دنده‌ای و اسکرو

پمپ گریز از مرکز یا سانتریفیوژ

پمپ‌های گریز از مرکز را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم بندی نمود:

- پمپ‌های جریان شعاعی
- پمپ‌های جریان محوری
- پمپ‌های جریان مختلط

در پمپ‌های جریان شعاعی، ایجاد فشار از طریق به حرکت درآوردن مایع پمپاژ شده در جهت شعاعی نسبت به شفت پمپ انجام می‌گیرد. این پمپ‌ها در کاربردهایی با دبی کم و هد بالا بکار گرفته می‌شوند.



شکل ۴-۱ انواع مختلف پروانه در پمپ سانتریفیوژ - ساخت یک پروانه محوری

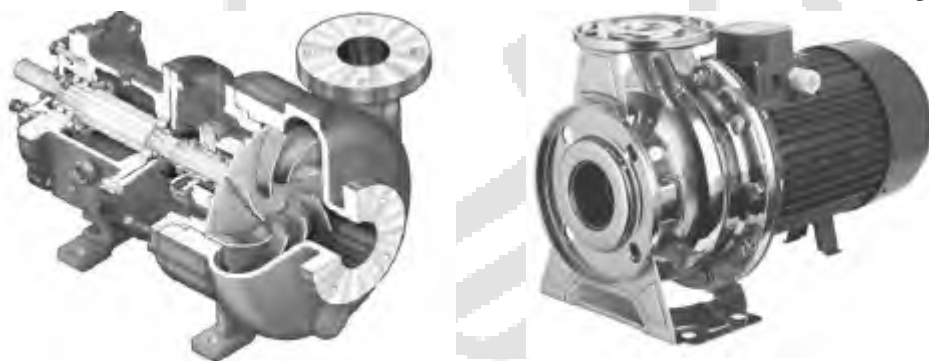
در پمپ‌های جریان محوری یا پروانه‌ای، فشار در اثر حرکت محوری مایع پمپ شده ایجاد می‌گردد و برای کاربردهایی با دبی بالا و هد کم استفاده می‌شوند. پمپ جریان مختلط، ترکیبی از انواع شعاعی و محوری بوده و بین این دو نوع قرار می‌گیرد. در طبقه بندی انواع پمپ‌های گریز از مرکز، از سرعت ویژه پمپ، که در فصل ۲ به آن پرداخته شده است (و همچنین مطالب اشاره شده در کتاب پمپ، پمپاژ و پایپینگ)، استفاده می‌شود. پمپ‌های جریان شعاعی دارای سرعت ویژه کم (کمتر از ۲۰۰۰) بوده در حالیکه پمپ‌های جریان محوری دارای سرعت ویژه بالا (بزرگتر از ۸۰۰۰) می‌باشند. پمپ‌های جریان مختلط در میان این دو قرار دارند.

برای تولید فشار، مایع در یک فشار اولیه (فشار مکش) وارد سمت مکش پمپ گریز از مرکز می‌گردد. انرژی مایع متناظر با این فشار، همراه با انرژی جنبشی مایع ناشی از سرعت مکش و انرژی پتانسیل ناشی از موقعیت لوله‌کشی مکش، انرژی کل مایع در زمانی که وارد پمپ می‌گردد را بیان می‌دارد. با جریان یافتن مایع درون پمپ، مایع در اثر چرخش پروانه پمپ با توجه به نیروی گریز از مرکز، شتاب می‌گیرد و انرژی جنبشی مایع افزایش می‌یابد. در پایان، زمان خارج شدن مایع (هنگامی که مایع از پیچک پمپ به لوله‌کشی تخلیه وارد می‌گردد) انرژی جنبشی به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد.

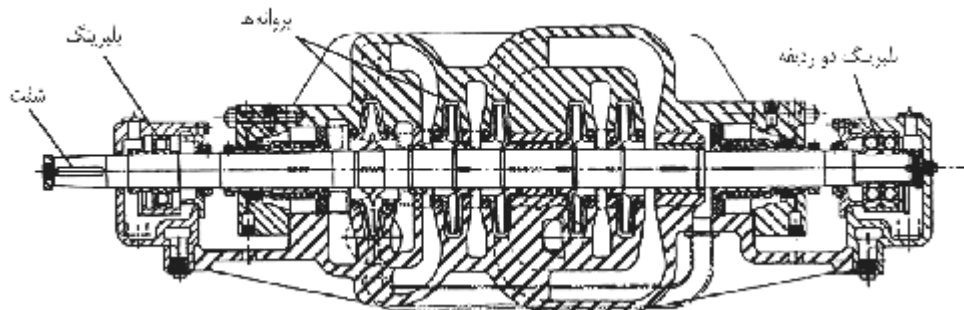
بدیهی است که دبی پمپ و فشار تولید شده، هر دو تابع سرعت چرخش پروانه پمپ و قطر آن می‌باشند زیرا این پروانه است که به انرژی جنبشی مایع می‌افزاید. بنابراین، ظرفیت پمپ گریز از مرکز می‌تواند با تغییر سرعت پمپ در محدوده مشخصی، افزایش یا کاهش یابد. حد بالایی سرعت توسط تنش‌های ایجاد شده در تکیه‌گاه‌های پمپ و محدودیت محرک پمپ نظیر موتور الکتریکی، توربین، یا موتور احتراقی تعیین خواهد شد. همچنین، ظرفیت پمپ و هد ایجاد شده

توسط پمپ با افزایش قطر پروانه، افزایش می‌یابد. بدیهی است که با توجه به محدودیت فضا در داخل محفظه پمپ، یک محدودیت عملی برای حداکثر اندازه پروانه وجود دارد. عملکرد پمپ گریز از مرکز با جزئیات بیشتر در فصل‌های بعدی مورد بحث قرار گرفته است.

در شکل ۱-۵ یک پمپ گریز از مرکز معمولی که می‌تواند به عنوان یک پمپ نوع پیچکی یا دیفیوژری طبقه بندی شود، نمایش داده شده است. در پمپ‌های گریز از مرکز تک پیچکه هنگامی که مایع از میان پروانه‌ی در حال چرخش به داخل لوله تخلیه پرتاب می‌گردد، هد سرعت ناشی از سرعت چرخش پروانه به فشار استاتیک تبدیل می‌گردد. پمپ‌های دوپیچکه مشابه نوع تک پیچکه کار می‌کنند، با این تفاوت که در آنها با توجه به بالانس بودن بارهای شعاعی وارد بر شفت، خمش شفت به حداقل رسانده می‌شود. در پمپ‌های نوع دیفیوژری، پره‌های راهنمای ثابت پروانه را احاطه کرده است. این پره‌ها سبب افزایش تدریجی گذرگاه جریان مایع شده و در نتیجه به تغییر تدریجی در جهت جریان و تبدیل هد سرعت به هد فشاری منجر می‌گردند. در شکل ۱-۶، نمای برشی یک پمپ گریز از مرکز چند مرحله‌ای نمایش داده شده است.



شکل ۱-۵ پمپ سانتریفیوژ یک مرحله‌ای



شکل ۱-۶ پمپ سانتریفیوژ چند مرحله‌ای